

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究 (A)

研究期間：2009～2012

課題番号：21684006

研究課題名（和文） 30 ミクロン帯観測による大質量星末期天体のダスト生成量の決定

研究課題名（英文） Estimation of dust mass from massive evolved stars by 30 micron observations

研究代表者

宮田 隆志 (MIYATA TAKASHI)

東京大学・大学院理学系研究科・准教授

研究者番号：90323500

研究成果の概要（和文）：

大質量星進化末期天体は宇宙におけるダストの有望な供給源だと考えられているが、その生成量は明らかにはされていない。我々は新規開発した中間赤外線カメラ MAX38 を、世界最高標高の miniTAO 1m 望遠鏡（標高 5640m）に搭載し、30 ミクロン帯高解像度観測を実施した。質量の非常に重い星から進化した LBV 星については 3 天体、やや軽めの双極惑星状星雲については 4 天体の空間分解画像を取得した。これにより、これら天体でのダスト形成量や形態進化について新しい知見を得た。

研究成果の概要（英文）：

Evolved massive stars are thought to be one of the most promising suppliers for dust in the Universe, but it remains unclear details of dust formation around them. We installed a newly developed mid-infrared camera MAX38 on the miniTAO 1-m telescope at the world highest Chajnantor site (altitude 5640m), and carried out imaging observations of evolved stars at 30 micron. Spatially resolved images of 3 massive luminous blue variable stars and moderate massive bipolar planetary nebulae are newly obtained. These provide new information about the dust supply and the morphological evolution of the objects.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
2010年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2011年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2012年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
総計	15,200,000	4,560,000	19,760,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：星間ダスト・大質量星・赤外線・機器開発

1. 研究開始当初の背景

宇宙における固体微粒子（ダスト）の起源は未だよく分かっていない。近年の高赤方偏移天体の観測からダストは進化の早い、大質量

星で形成されることが示唆させている。しかし近傍の大質量星末期超新星の観測から求められるダストの形成量は非常に少なく、宇宙のダスト量を説明するには全く不足であ

る。超新星に至るまでの段階でダストが大量に形成される可能性も考えられてはいるものの、観測的には明らかにされていない。これはこのようなダストが比較的低温域に分布するため、観測特に高解像度の観測が難しかったことに起因する 50-100K 程度のダストを高精度でかつ高解像度で観測するシステムが求められていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は波長 30 ミクロンの天体観測用カメラシステムを完成させ、大質量星末期天体観測を行うことで、その周囲でのダストの形成量を精度良く求めることである。開発するカメラシステムは東京大学がチリ・アタカマで運用する miniTAO 1m 望遠鏡に搭載する。これは世界で最も高い場所にある望遠鏡であり、唯一 30 ミクロン帯の定常観測が可能なサイトである。これに専用の 30 ミクロン観測システムを設置運用することで、従来見えなかった低温ダストを精度よく観測できるようになる。これによって大質量星末期天体、特に **Luminous Blue Variables** と呼ばれる変光星を高解像度観測し、星の周りのダスト分布・温度を正確に導出、放出されたダスト量を正確に求める。

3. 研究の方法

具体的な研究の方法は大きく分けて 2 つからなる。

(1) 30 ミクロン天体観測システムの開発
波長 30 ミクロンを観測できるカメラシステムの開発を行う。研究開始時点でカメラシステムの大枠は完成しており国内での試験観測にも成功していた。本研究ではこのカメラをチリで用いるための機能追加を実施した。具体的にはリモート観測用のモニタシステムの追加、30 ミクロン観測用の波長選択フィルターの追加、現地への設置調整、などである。

(2) 大質量星末期天体の観測研究
上システムを用いた大質量星末期天体の観測を実施し、30 ミクロン帯高解像度画像を取得することで星周ダスト量の見積もりを行う。具体的な天体としては Luminous Blue Variables (LBVs) 6 天体、massive AGB 星 6 天体の観測を実施する。これらのうち明るいものについては繰り返しモニタ観測も実施、中心星変光に伴うダスト放射の変化も測定する。

4. 研究成果

(1) 世界初の 30 ミクロン帯の地上観測
本研究によって 30 ミクロンカメラは改良を施され、2009 年に無事アタカマに設置された。

2009 年 11 月には地上望遠鏡で初めて波長 30 ミクロンで天体の光を受けることに成功した。これは世界で初めての成功例となった。これについては論文で発表を行ったほか、メディアでも大きく取り上げられた。リモート観測対応についても様々な改良開発を実施し、2011 年度より山麓からのリモート観測が可能となった。リモート観測により人的負担が減ったおかげで、夜間のみならず日中も連続して観測が可能となり、観測時間が格段に増えただけでなく、通常は観測不可能な天体（例えば日中にあがる天体など）の観測も可能となった。小惑星 2005YU55 の地球最接近時（チリの日没前）の赤外線観測の成功などがその良い例である (Miyata et al. 2012b: 論文 3)。日中を含めた 30 ミクロン帯観測の実現性や達成精度などについても研究を行い、論文 (Miyata et al. 2012a: 論文 2) として発表している。



図-1
アタカマ 1m 望遠鏡に
搭載された 30 ミクロン
カメラ

(2) 大質量末期天体のダストの観測研究
大質量星末期天体のうち非常に大きな質量放出が示唆されている LBVs 6 天体の 30 ミクロン帯撮像観測を実施した。うち 3 天体では 30 ミクロン帯で有意な広がりを検出し、ダスト量の見積もりが行えた。中でも eta Car については低温ダストを 31 ミクロン・38 ミクロンの 2 波長で空間的に分解することに成功した。このデータからダストの 80%は赤道方向のトーラス構造に集中していることが明らかとなり、giant eruption と呼ばれる大規模な間欠的質量放出現象に加え、平穏期の定常的ダスト放射がダスト供給に一定(およそ 10%)の役割を果たしていることが示唆された。本成果は博士論文として発表済みである (Nakamura 2011, 東京大学)。

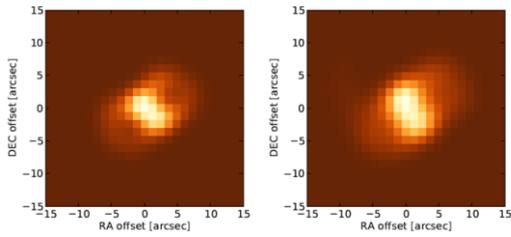


図-2
本研究で得られた LBV 星 eta Car の 30 ミクロン画像。中心部にある左上-右下向きの斜めの構造が中央のトーラス構造に対応している (中村博士論文より)

LBVs に進化する天体よりやや低質量 (4-8 太陽質量) の星は AGB 星を経て双極子状の惑星状星雲になることが知られている。我々はこのような天体についてもサーベイ的観測を進め、4 天体について 30 ミクロン帯高解像度画像の取得に成功した。Mz-3 と呼ばれる天体では中心星付近に 0.3 太陽質量もの重い円盤 (あるいはトーラス) 構造があることを発見した。これは従来知られていた中心円盤の 100 倍以上の質量に対応しており、星の幾何学的進化の観点からも物質循環の点からも興味深い結果である。同様の重い円盤は NGC6302 などでも検出されており、今後のサーベイ的観測が期待される。なおこの成果は学会等で既に発表済みである。

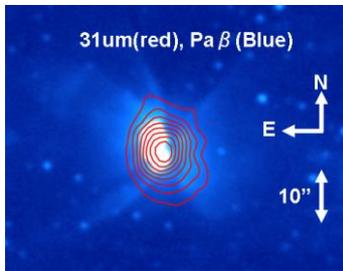


図-3
本研究で得られた双極惑星状星雲 NGC6302 の画像。赤で示した 30 ミクロン放射マップが中心集中していることから、ここに重い円盤構造があることが分かる

(3) その他の観測成果

本研究によって整備された 30 ミクロンカメラは観測波長のユニークさに加え、機動力のある小型望遠鏡に搭載されているため、自由度の高い研究遂行が可能である。そのおかげで大質量星末期天体以外のテーマについても科学的な成果が得られている。

① AGB 星における 100 年スケールの質量放出現象のサーベイ観測

AGB 星のいくつかは 100 年スケールで質量放出率が変化することが示唆されている。これらは主に周囲に広がる波紋状のダストリングから推定されているものであり、実際に変動中の天体が見つかることは非常にまれである。我々は過去の衛星観測データから変動がありえそうな天体を選び出し、フォローアップ観測を行うことで質量放出が変動している

天体を探し出した。これまで観測した 10 天体のうち 3 天体では有意な変動がみられた。これは今後の詳細観測に向けた重要なサンプルとなる。

② 大質量星形成領域の観測

大質量星は深く埋もれた分子雲で形成されるため、その観測には中間・遠赤外線が有効である。我々は 1m 望遠鏡を活かした高解像度観測によって大質量星形成領域を観測し、1 つ 1 つの星に対して放射エネルギー分布を明らかにする、という研究を進めてきた。その結果、大質量星形成領域では星は必ずしも同時には生まれてこず、軽めの天体の方が先に生まれる傾向があることが分かってきた。まだサンプルが少なく最終的な結論には至っていないが、これは大質量星の質量膠着を理解する良い手がかりとなりうる結果である。

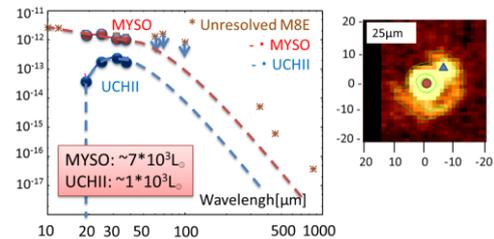


図-4
大質量形成領域 M8E で近接する 2 つの天体の 25 ミクロン画像 (右) と SED (左)。本研究によって各天体の光度が正確に測定され、より進化が進んでいる天体の方が軽いことが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- (1) Asano, K., T. Miyata, S. Sako, T. Kamizuka, T. Nakamura, M. Uchiyama, M. Yoneda, H. Katata, Y. Yoshii, M. Doi, K. Kohno, K. Kawara, M. Tanaka, K. Motohara, T. Tanabe, T. Minezaki, T. Morokuma, Y. Tamura, T. Aoki, T. Soyano, K. Tarusawa, N. Kato, M. Konishi, S. Koshida, H. Takahashi, T. Handa, and K. Tateuchi, "Performance verification of the ground-based mid-infrared camera MAX38 on the MiniTAO Telescope", Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, 査読無, Volume 8446, 2012, article ID 844634
DOI:10.1117/12.925590
- (2) Miyata, T., S. Sako, T. Kamizuka, T. Nakamura, K. Asano, M. Uchiyama, M. Konishi, M. Yoneda, N. Takato, Y. Yoshii,

M. Doi, K. Kohno, K. Kawara, M. Tanaka, K. Motohara, T. Minezaki, T. Tanabe, T. Morokuma, Y. Tamura, T. Aoki, T. Soyano, K. Tarusawa, H. Takahashi, S. Koshida, and N. M. Kato, "Evaluations of new atmospheric windows at thirty micron wavelengths for astronomy", Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, 査読無, 8444, 2012, article ID 84446B

DOI:10.1117/12.925258

(3) Miyata, T., T. G. Mueller, S. Hasegawa, S. Sako, T. Kamizuka, T. Nakamura, K. Asano, M. Uchiyama, M. Konishi, M. Yoneda, T. Ootsubo, F. Usui, B. Altieri, M. Kidger, Y. Yoshii, M. Doi, K. Kohno, K. Kawara, M. Tanaka, K. Motohara, T. Tanabe, T. Minezaki, T. Morokuma, Y. Tamura, T. Aoki, T. Soyano, K. Tarusawa, S. Koshida, H. Takahashi, and N. Kato, "Thermal Infrared Observations of an Asteroid 2005YU55 During the Closet Approach", Asteroids, Comets, Meteors 2012, Proceedings of the conference held May 16-20, 2012 in Niigata, Japan, 査読無, LPI Contributions No. 1667, 2012, article ID 6260

DOI: 無し

(4) Motohara, K., T. Aoki, K. Asano, M. Doi, T. Handa, K. Kawara, D. Kato, N. Kato, K. Kohno, M. Konishi, S. Koshida, T. Minezaki, T. Miyata, T. Nakamura, S. Sako, T. Soyano, T. Tanabe, M. Tanaka, K. Tateuchi, K. Tarusawa, M. Uchiyama, Y. Yoshii, L. Bronfman, M. T. Ruiz, and M. Hamuy, "Site Characteristics of the Summit of Cerro Chajnantor at the 5640 m Altitude", Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series, 査読無, Volume 41, 2011, pp.83-86

DOI: 無し

(5) Nakamura, T., T. Miyata, S. Sako, K. Asano, M. Uchiyama, T. Tanabe, M. Yoneda, Y. Ita, T. Onaka, H. Kataza, T. Aoki, M. Doi, T. Handa, D. Kato, K. Kawara, K. Kohno, M. Konishi, S. Koshida, T. Minezaki, N. Mitani, K. Motohara, R. Ohsawa, T. Soyano, M. Tanaka, K. Tarusawa, K. Toshikawa, and Y. Yoshii, "MiniTAO/MAX38 first light: 30-micron band observations from the ground-based telescope", Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, 査読無, 7735, 2010, article ID 773561

DOI:10.1117/12.856228

(6) Minezaki, T., D. Kato, S. Sako, M. Konishi, S. Koshida, N. Mitani, T. Aoki,

M. Doi, T. Handa, Y. Ita, K. Kawara, K. Kohno, T. Miyata, K. Motohara, T. Soyano, T. Tanabe, M. Tanaka, K. Tarusawa, Y. Yoshii, L. Bronfman, M. T. Ruiz, and M. Hamuy, "The University of Tokyo Atacama 1.0-m Telescope", Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, 査読無, 7733, 2010, article ID 773356

DOI:10.1117/12.856694

[学会発表] (計 15 件)

(1) 浅野健太郎、宮田隆志、酒向重行 他、「双極状惑星状星雲の低温ダストの中心集中」、2013/3/20/23, 日本天文学会春季年会、埼玉大学

(2) 上塚貴史、宮田隆志、酒向重行 他、「ミラ型変光星 T Col に見られたシリケート形成活性化の兆候」、2013/3/20/23, 日本天文学会春季年会、埼玉大学

(3) 内山瑞穂、宮田隆志、酒向重行 他、「大質量星形成領域 M8E の長中間赤外線での観測」、2012/9/19-21, 日本天文学会秋季年会、大分大学

(4) Asano, K., Miyata, T., Sako, S., Kamizuka, T. Nakamura, T., Uchiyama, M., Konishi, M., Koshida, S., "A new detection of the cold dust component in the bipolar planetary nebula Mz3 with miniTAO/MAX38 31 micron image", 2012/08/06-08, "Cosmic Dust", Kobe university, Kobe, Japan

(5) Miyata, T., Sako, S., Kamizuka, et al., "Evaluations of new atmospheric windows at thirty micron wavelengths for astronomy", 2012/07/01-06, SPIE "Astronomical Telescopes and Instrumentation 2012", Amsterdam RAI Convention Centre, Amsterdam, Netherlands

(6) Miyata, T., Sako, S., Kamizuka, T., et al., "Evaluations of new atmospheric windows at thirty micron wavelengths for astronomy", 2012/07/01-06, SPIE "Astronomical Telescopes and Instrumentation 2012", Amsterdam RAI Convention Centre, Amsterdam, Netherlands

(7) Miyata, T., Mueller, T. G., et al., "Thermal infrared observations of Asteroid 2005YU55 during closest approach", 2012/06/16-20, "Asteroid, Comets, Meteoroids 2012", Toki Messe, Niigata

(8) 宮田隆志、酒向重行、上塚貴史 他、「地球に最接近した小惑星 2005YU55 の miniTAO/MAX38 による中間赤外線観測」、2012/3/19-22, 日本天文学会春季年会、龍谷大学

- (9)浅野 健太朗、宮田 隆志、酒向 重行 他、
「 $30\mu\text{m}$ 帯観測による双極状惑星状星雲 Mz3
中心星周囲低温ダストの新検出」、
2012/3/19-22, 日本天文学会春季年会、龍谷
大学
- (10)越田 進太郎、峰崎 岳夫、諸隈 智貴 他、
「miniTAO 1m 望遠鏡遠隔観測システムの構
築」、2011/9/19-22, 日本天文学会秋季年会、
鹿児島大学
- (11)浅野健太朗、宮田隆志、酒向重行 他、
「TAO-2 : 中間赤外線観測装置 MAX38 を用い
た $30\mu\text{m}$ 帯地上観測解析手法の開発」、
2011/3/16-19, 日本天文学会春季年会、筑波
大学
- (12)中村友彦、宮田隆志、酒向重行 他、「 η
Carinae Homunculus Nebula の $30\mu\text{m}$ ミクロン帯
撮像観測」、2011/3/16-19, 日本天文学会春
季年会、筑波大学
- (13)内山瑞穂、宮田隆志、酒向重行 他、「ア
タカマ 1m 望遠鏡中間赤外線カメラ MAX38 に
よる $30\mu\text{m}$ 帯スカイの観測」、2010/9/22-24、
日本天文学会秋季年会、金沢大学
- (14)Minezaki, T., Kato, D., Sako, S., et
al., “The University of Tokyo Atacama
1.0-m Telescope”, 2010/06/27-07/02, SPIE
“Astronomical Telescopes and
Instrumentation”, Town and Country Resort
and Convention Center, San Diego,
California, USA
- (15)Nakamura, T., Miyata, T., Sako, S., et
al., “MiniTAO/MAX38 first light:
30-micron band observations from the
ground-based telescope”,
2010/06/27-07/02, SPIE “Astronomical
Telescopes and Instrumentation”, Town and
Country Resort and Convention Center, San
Diego, California, USA

[その他]

ホームページ等

[http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kibans/m
ax38/](http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kibans/m
ax38/)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮田 隆志 (MIYATA TAKASHI)
東京大学・大学院理学系研究科・准教授
研究者番号：90323500

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし